

天文学是一门观测科学，空间天文时代的天文学仍然如此。天文学的发展史，从某种意义上来说，就是探测宇宙的能力、技术和方法的进展的历史。地面的传统的和经典的天文观测，追求的是看得更远、看得更准、看得更清楚。为此就要不断地提高贯穿本领，提高空间分辨力和时间分辨力。空间天文学除了上述那些目标外，还能在空间观察到为地球大气所屏蔽的宇宙伽马、X、远紫外和远红外辐射，并能不分昼夜地连续对天体和宇宙巡视。1989—1991年4月成功地发射了10个天文卫星、空间天文台和行星际探测器，它们或已飞行到位、或正在飞向预期的天区，正在或即将源源不断地向地面送回观测数据。在逐个介绍这些在今后几年内将为我们揭示新的天象的空间天文站之前，我们先举两个地面天文探测的事例，看看贯穿本领和分辨率当前已达到怎样的水平。

近二、三年，不仅高量子效率的探测元件，如 CCD（电荷耦合器件）、光纤，开始普遍应用于天文观测，主动光学和自适应光学也已在实验性的大型光学望远镜上取得成功。此外，还发展了若干种光学成像方法，例如，类似于甚大射电天线阵（VLA）干涉方法的光学综合孔径技术、非多余遮挡成像法、锁相成像法等等，它们能使分辨率达到光学系统的衍射极限 0.03—0.05 角秒。正是由于运用了新的光学系统和成像技术，欧洲南天台（ESO）的口径 3.6 米新技术望远镜（NTT），在良好的天气条件下，60 分钟则能记录到亮度 27 星等的暗弱星像，比用经典方法所能观测的 22 星等，在亮度上向暗端增益了 100 倍。1990 年 7 月，在人马天区，第一次观测到银河系中心两个相距 0.7 角秒的暗天体的光学像：GZ-A 和 GZ-B。在位置上，银心射电源人马 A 和 GZ-A 向符合。根据颜色判断，GZ-A 为一致密蓝天体。GZ-B 则在位置上与银心红外源 IRS16NW 证认为一。若假设该天区的星际消光为 14.0 星等，则 GZ-A 和 GZ-B 的总光度为 -9.5 星等，即比太阳亮 1000 万倍。如果银河系中心区的这两个核心源或其中一个点源与黑洞有关，则可预期应该有出自吸积盘的同步加速光波辐射或热连续辐射和热线辐射，从而使我们对银心的真面目有了进一步认识。

射电望远镜在厘米波段的分辨率在 50 年代初只有 1 度左右，远比人眼的分辨本领低。60 年代发明了综合孔径技术，使射电天文的空间分辨率得到大提高，英国剑桥 5 公里基线射电阵于 70 年代分辨率本领达到 0.7 角秒。80 年代问世的基线 6—134 公里的多元射电联网干涉仪（MERLIN）的分辨率是 0.07 角秒。四十年间，空间分辨率提高了 10000 倍。现在，洲际甚长基线干涉仪（VLBI）甚至可分辨 0.0001 角秒，远远超过了光学望远镜的现有能力。50 年代初，射电天文兴起之际，发现强射电源英仙 A 的光学对应体是塞佛特星系 NGC 1275。在综合孔径方法发明后，探知英仙 A 有一个 10 角分的射电晕，MERLIN 系统则进一步分辨出源心有小于 1 角秒的点核。80 年代末，VLBI 用空间分辨率 0.0001 角秒的技术，更将点核分解为更小的致密核。根据现行的宇宙尺度所测定的 NGC1275 距离，求出致密核的质量达 10^8 个太阳质量。

从信手拈来的上面两个实例，可以雄辩地告诉我们，新探测技术和方法在揭示前所未有的天象中起着何等关键作用。

下面将按发射上天的时间顺序，逐个地介绍 1989—1991 年 4 月的 10 个空间天文探测器。

麦哲仑（Magellan）金星探测器。1989 年 5 月 4 日由亚特兰蒂斯航天飞机送上太空。从 1961 年至今，美国和苏联已发射了 20 多个金星探测器：水手 2 号（1962）、水手 5 号（1967）、水手 10 号（1973）、先锋-金星 1 号（1978）、先锋-金星 2 号（1978）、金星 1 号到金星 16 号（1961—1983）。它们或是飞掠、或是环绕飞行、或是抛出探测器着陆金星表面，取得了许多有关这个距离地球最近但却为厚厚的大气笼罩，使得人类不识其真面目的行星的知识。1989 年上天的“麦哲仑”

已于同年 8 月 10 日飞临金星，进入了环绕金星的轨道，它的使命是绘制金星地形图。“麦哲仑”的探测系统称为 VOIR。这是金星轨道成像雷达（Venus Orbiting Imaging Radar）的缩写。通过分析雷达回波的强度、偏振度、时滞、多普勒位移，在一年多的期间，它将绘编出分辨率达 250 米的金星地形图。从 8 月 16 日开始，VOIR 以周期 3 小时 15 分钟的极式轨道扫描金星表面。经过 10 个月的飞行，已完成 82% 的测绘，发现了



从空间天文展望

九十年代天文学的进展

· 李竞



新的金星环形山不下 4000 个。从 1991 年 5 月 16 日起,又开始第二轮的扫描,填补上第一轮俯视图的空白区。“麦哲仑”的探测必将极大地丰富我们对金星的了解。

依巴谷(Hipparcos)天体测量卫星。1989年8月8日由火箭发射。这是欧洲和美国联合研制的空间天文台。依巴谷是生活于公元前190—前125年前后,对后世有极大影响的古希腊天文学家。依巴谷卫星则是高精度视差汇集卫星(High Precision Parallax Collecting Satellite)缩称的谐音。卫星载口径30厘米反射望远镜。它的任务是在2年的飞行中,对全天的亮于12.4视星等的恒星逐一测量80次,完成载有12万个恒星的完备样本天体测量星表。每个恒星的方位测量精度0.002角秒,视差测量精度0.002角秒,自行测量精度每年0.002角秒,系统误差小于0.001角秒。它不仅扩大了地面三角视差测量所能达到的空间范围(从150年来已测定的星数少于1万个,激增10多倍),还将测量精度提高了10—20倍。然而,“依巴谷”升空并进入大椭圆轨道后,却出乎意料地两次点火失败,未能实现同步轨道环地飞行。这样一来,就有每飞行一圈必然穿行范艾伦辐射带二次而缩减存在寿命的危险。随后,几经努力,飞行轨道仍未能得到较大改进。幸运的是,经过半年的实际运行,得知危险将比预期的小,存在期可能不少于2—3年,甚至更长些。原订的科研项目仍能很好地完成。但是,椭圆轨道带来的后果是地面接收站必须从原计划中的一个(德国欧登瓦德),再增加三个(澳大利亚珀斯、圭亚那库鲁、美国戈德斯通)。可以预期,“依巴谷”的巡天不仅推动了空间天体测量的前进,还将提供精确的太阳附近空间的恒星光谱光度图(赫罗图)和恒星的基本物理量,必然为恒星物理学和恒星天文学的进展做出重大贡献。

伽利略木星探测器。1989年10月18日由亚特兰蒂斯航天飞机携带上天。1972—1977年间先后发射了4艘行星际飞行器,它们是先驱者10号和11号、旅行者1号和2号。均成功地从近距离观测了木星,发回大量有关木星和木卫的情报。“伽利略”升空后,已于1990年2月10日飞掠金星,先对金星的云层和大气进行一次考察,并于1990年12月11日折返地球,在距地面3700公里处掠过。然后,奔向远方,将于1995年12月进入环绕木星飞行的轨道,那时,“伽利略”的一部分成为环绕木星飞行的木星轨道探测器,在木星的云层之上,对木星和几个木卫进行为期2年半的考察。另一部分则成为木星着陆器,将第一次实现穿透木星大气的下降并着陆的探测。

宇宙背景探测器(COBE)。1989年11月18日由火箭携带升空并进入环地轨道。COBE是Cosmic Background Explorer的缩写。它载有微波辐射计、远红外

分光计和红外弥漫背景辐射计共三套设备。第一个仪器可用于3个频带。第二个仪器的波段幅度从100微米到10毫米,第三个仪器的通道范围为1—300微米。为了保证将太阳辐射的干扰影响减少到最小限度,COBE所运载的探测装置的指向总是处在与太阳呈直角的姿态。COBE发送回来的最初一批探测资料即表明,微波背景辐射的分布与温度 $T = 2.730\text{K}$ 的黑体辐射曲线的吻合程度达99.75%,可以倾向地认为,偶极不对称性不是宇宙的固有特征,而是银河系以每秒300公里的速度朝向狮子座之南的一点的方向运动的结果。可以预期,COBE的巡天观测必将为建立更能确切反映宇宙的早期和现状的宇宙学模型,提供宝贵的参数。

哈勃空间望远镜(HST)。1990年4月24日由发现号航天飞机放上太空。HST是Hubble Space Telescope的缩写。HST为一口径2.4米反射望远镜,可以用远紫外、光学和红外三个波段对天体和宇宙进行成像、测光、分光等多种天文和天体物理探测。HST的光学系统质量的设计要求是星光的70%应集中在直径0.12角秒的圆斑内。这样要求光学元件的磨制精度优于 $1/20$ 波长。不料,HST上天之后,用它的暗天体照相机(FOC)取得的第一幅星空图象,显示出光学系统的质量比预期的差多了。显像直径大到1.4角秒。在直径0.2角秒的像斑中只集聚了星光的15%,精度只达到 $1/2$ 波长。经过核查,已判明,原来在磨制和检验2.4米反射主镜过程中,检测系统内的一个光学元件在光具座的位置差错了1.3毫米,这样,就使主镜的表面偏离了设计要求,产生了球差。随后,更由于可能为了节约经费,没有对整个光学系统进行综合检验,未能在总装之前,及时检查出单个镜面的误差。按美国宇航局的日程安排,1993年航天飞机将检修HST。当前设想的补救措施,即以此为前提,拟出三种可行方案。一是立即研制一个置于FOC光路中的改正镜,于1993年由宇航员送上并安装,使之消除主镜的球差,令HST的成像质量达到原设计指标。然而,实现这个方案有技术上的困难,因为FOC的设计和制造均未考虑到要重新拆卸或另行装配,所以,FOC的装修并未易事。第二个方案是另行重新研制一个带改正镜的FOC,于1993年用之换下现在的FOC。实现这个方案得追加巨额的经费。第三个方案是1993年将FOC取回地面,改装后再于1996年在宇航局日程表中既定的第二次维修HST时,放置原位。这个方案最为易行,遗憾的是要等到1996年才能有效使用暗天体照相机,取得本该在1990年就应得到手的观测资料。当然,天体的测光和分光的研究,HST仍能大体上按原来经过竞争已获中标的课题实施。然而,HST光学质量的低下,不能不令人十分惋惜。即便如此,HST在第一年飞行期间,借助图象处理技

术仍取得令人瞩目的成绩。例如,观测到在地基光学天文台难以分辨的几个大行星的表面细节;发现南天特殊天体船底7的双向喷流结构以及线尺度只有10个天文单位(日地平均距离定义为1个天文单位)的图象;取得室女星系团中最亮的特殊星系M87的0.1角秒分辨率结构图;观测到大麦哲仑云超新星1987A的星周发射谱线环状物以及特殊变星宝瓶R的扭曲外形喷流;在几个球状星团的核心密集区用紫外光探测到蓝离散星;用分光方法测定出绘架 β 的星周气盘的半径相当于火星和太阳的距离(1.5天文单位)和星周尘盘的半径超过冥王星和太阳的距离(50个天文单位)。在HST承担的探测项目中有宇宙的大尺度结构、星系团的结构和动力学、类星体的本源、高能天体的光学现象、激变变星和吸积盘的物理等等,一系列现代天文学和天体物理学的关键课题。其中最重要的任务是研究宇宙距离尺度,即测量哈勃常数 H_0 。我们知道,当前并存几种不同数值的哈勃常数,其中大的尺度, $H_0 =$ 每兆秒差距每秒50公里,而小的尺度, $H_0 =$ 每兆秒差距每秒100公里,二者相差一倍。这样,用大尺度量出的宇宙距离比用小尺度量出的大一倍;用大尺测定的宇宙年龄也比用小尺测定的大一倍。HST将利用它的贯穿本领的威力空前的优势,搜寻诸如室女星系团等近距的、本星系群之外的星系中的造父变星、行星状星云,根据这些特征天体的良好光度定标,去判断现存的宇宙距离尺度,那一个更接近于宇宙的客观实际。正是由于这个重大的历史使命,空间望远镜得以冠上观测宇宙学先驱者和奠基人哈勃的大名。

伽马一号(Gamma-1)。它是苏联于1990年5月11日送入太空的宇宙 γ 射线探测装置。

X射线卫星(Rosat)。1990年6月1日由火箭发射升空。Rosat是由德国、欧洲航天局和美国宇航局共同研制的,它是Rontgenstrahlen Satellit的缩写,自1970年以来,美国、西欧、日本和苏联先后将好几个天体X射线探测器送入环地轨道。其中贡献最大的首推乌乎鲁(Uhuru)、女妖五号(Ariel-5)、高能天文台一号(HEAO-1)、高能天文台二号(HEAO-2)、欧洲X射线卫星(Exosat)、量子(Kvant)和星系(Ginga),正是由于它们的周天巡视,才发现了 10^3 个宇宙X射线源和许多高能天体物理现象,使X射线天文学成长为现代天文学的重要支柱之一。这次上天的Rosat运载两架成像X射线望远镜。其一口径84厘米,探测0.1—2千电子伏的X射线天象;另一口径57厘米,观察0.04—0.2千电子伏,即波长60—300埃的极紫外天空。Rosat升空二周后,随即开始巡天。它第一次探测到月球的软X辐射;发现了一批极紫外强源,例如,近距恒星Feige 24,由两个白矮星组成的双星RE 1629 + 781;根据天龙座方向、在银道面之上约300秒差距的天区内的0.1—0.5千电子伏的软X背景辐射测量,判定它们起

源于距离我们300秒差距的温度高达 10^6K 的银冕星际气体;Rosat还指出0.1—2千电子伏的X射电背景的30%是来自遥远的类星体。从1991年2月8日起着手绘编X射线天图和极紫外天图,将在6个月的巡天期间,完成整个天球的97%的扫描。预期Rosat将取得比以前深100—1000倍的高能天图,并发现 10^3 个宇宙X射线源,比现在已知的源数多百倍。

尤利西斯(Ulysses)太阳探测器。1990年10月6日由发现号航天飞机送入轨道。“尤利西斯”是一个飞行轨道与以前的太阳空间探测器大不相同的装置,它的主要任务是考察在此之前从未有任何探测器能到达的太阳两极上空,并俯视太阳极区。为此目的“尤利西斯”先背朝太阳,飞向太阳系外围。于1992年2月,飞临木星,借助木星的强大引力,加速运行并折回太阳系内围,沿与黄道面近乎垂直的轨道飞向太阳。于1994年6月到10月间,通过太阳南极上空,探测太阳南极冠。1995年2月,穿过黄道面,于同年6月到9月,飞临太阳北极上空,考察太阳北极冠。“尤利西斯”将测量太阳南北两极磁场的强度和方向;测量极区太阳风的速度、密度和温度,测量极区日冕的温度,探测中等能量的太阳荷电粒子;考察宇宙线的来龙去脉;探测极区X射线和射电;在整个飞行过程中考察宇宙尘;还计划进行引力波实验。“尤利西斯”的成功探测,必将在本世纪最后几年提供有关太阳的新知识。

紫外天文一号(Astro-1)空间望远镜。1990年最后发射成功的天文卫星是12月1日由航天飞机“哥伦比亚”送入太空的紫外天文探测器(Astro-1)。从1968年起到1978年的十年间,空间紫外天文学获得了大发现,这主要是由于环地天文台“OAO-2”、“OAO-3”、荷兰天文卫星“ANS”和国际紫外探测器“IUE”的紫外巡天。其中“IUE”至今仍在太空按照地面指令,送回多种天体的紫外分光 and 紫外测光的资料。因多种原因,一再推迟发射的“Astro-1”为一个有4个望远镜组成的探测群体。计有口径90、50和38厘米的3个紫外望远镜和一个宽波段(0.3—12千电子伏)X射线望远镜。“Astro-1”能同时对一个天体进行紫外成像、测光、偏振、分光和软X射线多项探测。在由航天飞机运载的9天飞行中,按预定课题对白矮星、双星、活动星、星系团进行了实测。探测到激变变星鹿豹Z的一次爆发全过程;发现蟹状星云中有以近光速向外发射的高能电子与云周环境相互作用形成的辉光;在富星系团Abell 496的成员星系之间探测到温度高达 $64 \times 10^6\text{K}$ 的炽热气体;还进行了一次有关暗物质假说的验证,结果在富星系团Abell 665中未检测到假说所预期的紫外光子。12月10日“紫外天文一号”随航天飞机返回地面。

伽马射线天文台(GRO)。1991年4月5日由亚特兰蒂斯航天飞机携带上天,并送入环地轨道。GRO

理论物理所专题讲座 (Colloquium) 简况



去年 9 月 13 日,北京大学物理系高崇寿教授应邀作了专题报告《夸克胶子等离子体》。

众所周知,我们生活的物质世界以三种形态存在:固态、液态和气态。实验上实现的电离等离子体可以称为物质的第四种态。近年来,物理学家提出还可能存在着第五种物质形态——夸克胶子等离子体 (quark-gluon-plasma, 简称 QGP)。

我们知道,强子是由夸克和胶子组成的束缚态。量子色动力学 (QCD) 已在高能强相互作用过程中取得了很大成功,是最有希望的强相互作用基础理论的候选者。鉴于实验上一直未能探测到自由状态的夸克和胶子,人们提出了色禁闭的基本假设:在没有对称性自发破缺的非 Abel 规范理论 (如 QCD) 中,携带规范群量子数的粒子都被规范作用禁闭在一定范围内形成此量子数为零的集团。物理上观察到的强子都是这种束缚态。

实验上测得强子电磁半径 $\lesssim 0.8 \text{ fm}$, 而原子核的典型半径约为 10 个 fm, 因此在核尺度的体积内可以容纳足够数目的强子, 这种强子的聚集状态就是核物质——强子物质相。此相的一个重要特征是, 内部各个组份强子是相对独立的色单态。如果简单地认为强子物质相由强子堆砌而成, 可以推算出相邻强子间的距离约为 2.17 fm, 这比强子直径要大, 因此强子物质相内存在相当的空隙。当压缩原子核到适当程度时, 核子之间的界限将会消除, 核子内部的色禁闭将被解除, 整个核成为色单态的夸克胶子体系, 这是一种全新的物质形态——夸克胶子等离子体相。

组份物质聚集成相需要一定的条件。首先, 要完成

是 Gamma-Ray Observatory 的缩称。从 60 年代末以来, 为了军事目的以及空间科学研究, 许多人造卫星和航天器均携带 γ 射线探测仪器, 其中为高能天体物理的发展做出贡献的有 OSO-3 (美, 1968)、SAS-2 (美, 1972)、COS-B (欧洲, 1975)、HEAO-3 (美, 1979)、Granat (苏, 1989)。1991 年上天的 GRO 的探测威力远超过前者, 它在 30 千电子伏到 30 京电子伏的能幅进行 γ 射线巡天、探测宇宙高能漫辐射、研究高能天体的特征谱线, 并发现 γ 线偶现源。它携带定向闪烁分光仪、成象康普顿望远镜、高能 γ 射线望远镜以及 8 个爆发源和偶现源检测仪共 4 组设备, 其中高能 γ 射线望远镜的最佳定位精度可达 5 角分。GRO 总重 150

从强子相到夸克胶子等离子体相的转变, 体系必须具有足够的自由度。一般的估计是, 核子数密度必须大于 30, 其次还要求体系达到足够高的温度和足够大的密度。这就是为什么选

择极端相对论性核碰撞作为研究夸克胶子等离子体的场所的原因。目前世界上有 CERN、BNL 和 FNAL 等主要实验室投入相当大的人力物力进行以 O、S、Si 和 P 打击 Au、Ag、U 和 W 等靶的实验, 从事以探寻夸克胶子等离子体为目的的研究。

由于夸克胶子等离子体的高温高密特性, 其存在时间十分短暂, 一般的估计约为 5—10 fm/c, 因此实验上探测到的并非夸克胶子等离子体本身, 而是它留下的痕迹。基于各种模型, 人们建议了一些夸克胶子等离子体形成的信号, 并进行了相应的实验探测。

1. 光子和轻子对的直接产生

夸克胶子等离子体中可以直接产生光子和轻子对, 由于不受强作用影响, 它们在产生之后就立即飞离体系, 因此可以反映夸克胶子等离子体各个演化阶段的特征。这种直接产生是热力学产生, 它与别的产生机制如 Drell-Yan 过程有很大的差别, 所以光子和轻子对的直接产生可以作为解除禁闭相变的一个信号。NA34 和 WA80 实验组观察到了多余光子的产生, 但由于本度复杂, 还不能作出肯定的结论。

2. 大横能量密度的出现

夸克胶子等离子体的高温高密特性在强子化时反映为 $\frac{d\Sigma_T}{dy}$ 和 $\frac{dn}{dy}$ 都很大。CERN 的 NA 34、NA 35、WA 80 和 EM 实验组以及 BNL 的 E 802 实验组却进行了这类实验。根据 CERN 的束流能量为 200 GeV/N 的硫打击钨靶实验还推算出碰撞过程中能量密度达到了理论上估计的夸克胶子等离子体形成条件。但是仍然不能肯定已经形成了夸克胶子等离子体, 因

吨, 乃是迄今最重的科学卫星。第一批观测对象计有蟹状星云、船帆高能源、天鹅 X-1、天鹅 X-3、塞弗特星系 NGC 4151 等。从 1991 年 7 月开始转向第二批观测对象, 它们是银河系中心、大麦哲伦云超新星 1987A 等。已探测到来自天鹅 X-3 的 10^{12} 电子伏和超新星 1987A 的 10^{13} 电子伏的高能辐射, 还在 7 月中下旬, 在低能区检测到银心方向的湮灭谱线辐射。

我们仅从空间天文探测器大发展的 1989—1991 年的这一角度, 纵观天文学和天体物理学的全局, 即可预期 20 世纪的最后 10 年必然又是天文学的一个新的黄金时代。